

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství a informatiky



Bakalářská práce

**Simulační model pro podporu rozhodování o násadě
v líhních**

Petr Jergl

© 2021 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Petr Jergl

Systémové inženýrství a informatika
Informatika

Název práce

Simulační model pro podporu rozhodování o násadě v líhních

Název anglicky

Simulation model for decision support in hatcheries.

Cíle práce

Cílem práce je sestavit simulační model na principech Systémové dynamiky pro podporu rozhodnutí o násadě. Simulační model bude zachycovat všechny zásadní proměnné v endogenní formě a umožní uživateli testovat, jaké budou dopady volby násady ve vztahu k objednavce zákazníka.

Metodika

- Studium odborné literatury
- Získání dat od vybrané firmy, která se zabývá chovem drůbeže
- Sestavení smyčkového diagramu
- Vytvoření simulačního modelu
- Testování modelu
- Porovnání simulace s realitou
- Analýza výsledků

Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

Systémová dynamika, Simulace, Diagram stavů a toků, Líhně, Násada

Doporučené zdroje informací

BOSEL, H. *System Zoo 1 simulation models : elementary systems, physics, engineering*. Norderstedt: Books of Demand GmbH, 2007. ISBN 978-3-8334-8422-3.

MEADOWS, D H. – WRIGHT, D. *Thinking in systems : a primer*. White River Junction, Vt.: Chelsea Green Pub., 2008. ISBN 978-1-60358-055-7.

STERMAN, J. *Business dynamics : systems thinking and modeling for a complex world*. Boston: McGraw-Hill, 2000. ISBN 007238915.

ŠUSTA, M. 2015. Průvodce systémovým myšlením. První vydání. Praha: Proverbs. 136 s. ISBN 978-80-260-7602-5.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Igor Krejčí, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 18. 2. 2021

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2021

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 13. 03. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Simulační model pro podporu rozhodování o násadě v líhních" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.3.2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce Ing. Igoru Krejčímu, Ph.D. za ohromnou trpělivost, věnované konzultace, velkou ochotu, nasměrování správnou cestou a všechnu pomoc, kterou mi při psaní této práce poskytl. Také bych dále poděkoval své rodině, která mne neustále podporovala a motivovala k psaní. V poslední řadě chci poděkovat zaměstnanci mé vybrané firmy, který se mnou ochotně a rád spolupracoval.

Simulační model pro podporu rozhodování o násadě v líhních

Abstrakt

Tato bakalářská práce se soustředí na využití systémové dynamiky v oblasti chovu drůbeže, kde pomáhá určit, kolik vajec se má nasadit do líhní, aby se přiblížili co nejlépe požadavkům zákazníka a minimalizovala se ztráta. Teoretická část práce vysvětluje základní pojmy, systémové archetypy a myšlenky systémové dynamiky, které slouží k lepšímu pochopení praktické části. V praktické části se nejdříve rozebere příčně smyčkový diagram a diagram stavů a toků vytvořených v programu Vensim. Příčně smyčkový diagram zobrazuje chod firmy jako celku a poté diagramu stavů a toků se zaměří na problém vycházející ze smyčkového diagramu, jehož výsledek bude v závěru porovnáván se skutečností.

Klíčová slova: Systémová dynamika, Simulace, Diagram stavů a toků, Líhně, Násada

Simulation model for decision support in hatcheries

Abstract

This bachelor thesis focuses on the use of system dynamics in the poultry farming industry, where it helps to determine how many eggs should be placed in hatcheries to get as close as possible to customer requirements and minimize losses. The theoretical part of the thesis explains the basic concepts, system archetypes and ideas of system dynamics, which serve to better understand the practical part. In the practical part, the casual loop diagram and diagram of stocks and flows, which are both created in program Vensim, are being analyzed. The casual loop diagram introduces us in the company operation as a whole and then the stock and flow diagram focuses on solving the problem based on the casual loop diagram which results will be finally compared with reality.

Keywords: System dynamics, Simulation, Stock and flow diagram, Hatcheries, Handle

Obsah

1 Úvod.....	11
2 Cíl práce a metodika	12
2.1 Cíl práce	12
2.2 Metodika	12
3 Teoretická východiska	13
3.1 Systémová dynamika	13
3.2 Vznik systémové dynamiky	13
3.3 Systém.....	13
3.3.1 Systémové myšlení	15
3.4 Využití systémové dynamiky	16
3.5 Příčně smyčkové diagramy	16
3.5.1 Proměnná	17
3.5.2 Informační vazby	17
3.5.3 Zpětnovazební smyčky	18
3.5.3.1 Posilující smyčka.....	18
3.5.3.2 Zeslabující smyčka	18
3.6 Diagram stavů a toků	19
3.6.1 Stavová proměnná - Hladina.....	19
3.6.2 Toková proměnná	19
3.6.3 Mrak.....	19
3.7 Archetypy	20
3.7.1 Eroze cílů	20
3.7.2 Sebeposilující se chování.....	20
3.7.3 Cílové chování	21
3.7.4 Nápravy, které se vymstí	21
3.7.5 Přesun Břemene	22
3.7.6 Meze růstu.....	22
3.7.7 Růst a nedostatečné investice	23
3.7.8 Náhodní protivníci	23
3.7.9 Tragédie společného	24
3.7.10 Úspěch úspěšným	24

3.7.11	Eskalace	25
4	Vlastní práce	26
4.1	Vensim PLE	26
4.2	Představení firmy	26
4.3	Vytváření CLD firmy	27
4.3.1	První krok vytváření CLD	27
4.3.2	Druhý krok vytváření CLD.....	28
4.3.3	Třetí krok vytváření CLD a spojení v celek	28
4.4	Simulační model procesu	30
4.4.1	Přijímání objednávky	32
4.4.2	Oplození vejce	33
4.4.3	Přeložení do Dolíhně	35
4.4.4	Líhnutí kuřete.....	35
4.4.5	Předání kuřat zákazníkovi.....	37
5	Výsledky a diskuse	39
5.1	Návrh násady.....	39
5.2	Porovnání s realitou.....	41
5.3	Optimistický scénář.....	42
5.4	Pesimistický scénář	42
6	Závěr.....	44
	Seznam použitých zdrojů	45

Seznam obrázků

Obrázek 1:	Vztah systémové dynamiky a myšlení	16
Obrázek 2:	Posilující smyčka	18
Obrázek 3:	Zeslabující smyčka	18
Obrázek 4:	Eroze cílů	20
Obrázek 5:	Sebeposilující se chování	21
Obrázek 6:	Cílové chování	21
Obrázek 7:	Nápravy, které se vymstí	22
Obrázek 8:	Přesun břemene	22
Obrázek 9:	Meze růstu	23
Obrázek 10:	Růst a nedostatečné investice	23
Obrázek 11:	Náhodní protivníci	24
Obrázek 12:	Tragédie společného	24

Obrázek 13: Úspěch úspěšným	25
Obrázek 14: Eskalace	25
Obrázek 15: První krok CLD	27
Obrázek 16: Druhý krok CLD	28
Obrázek 17: Třetí krok CLD	29
Obrázek 18: Finální CLD	29
Obrázek 19: Model procesu líhnutí.....	31
Obrázek 20: Přijímání objednávky.....	32
Obrázek 21: Objednávka	32
Obrázek 22: Oplození vejce	33
Obrázek 23: Oplozenost	34
Obrázek 24: Přeložení do dolíhně.....	35
Obrázek 25: Líhnutí kuřete.....	36
Obrázek 26: Líhivost.....	37
Obrázek 27: Předání kuřat zákazníkovi.....	37
Obrázek 28: Graf násady do líhnutí.....	39
Obrázek 29: Graf technologické normy.....	40
Obrázek 30: Graf předání kuřat zákazníkovi.....	40
Obrázek 31: Tabulky dat z firmy	41
Obrázek 32: Graf dat z firmy v modelu	41
Obrázek 33: Graf předání kuřat zákazníkovi OS	42
Obrázek 34: Graf předání kuřat zákazníkovi PS	43
Obrázek 34: Graf porovnání scénářů	43

1 Úvod

Systémová dynamika patří mezi poměrně nové vědní disciplíny zabývající se komplexními systémy, jejich chováním a vývojem v průběhu času. Byla založena v 50. letech 20. století americkým profesorem Jay Wright Forresterem. Ve stejné době také vzniká díky Richardu Bennetovi první formální počítačový jazyk pro tvorbu modelů a simulací SIMPLE. Právě díky většímu pokroku se tato věda přenesla mimo jiné i do České republiky, začala se zde využívat a od roku 1995 intenzivně rozvíjet. V práci jsou popsány základy systémové dynamiky, které pomáhají lépe porozumět diagramům, se kterými se práce zabývá v praktické části. Tato část obsahuje postup výtvaru příčně smyčkového diagramu, zachycující chod firmy a rozbor diagramu stavů a toků, který se zabývá problematikou práce. Celý proces diagramu je popsán krok po kroku a vysvětluje vlastnosti a vztahy mezi proměnnými. V poslední části se analyzují výsledky simulace, porovnají s realitou a na základě informací se stanoví doporučení pro firmu.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem práce je sestavit simulační model firmy na základě informací poskytnutých od zaměstnance firmy na podporu rozhodování v líhních. V dalším kroku se vytvoří model objednávky zákazníka až po její doručení pomocí diagramu stavů a toků. Model pomáhá navrhovat množství vajec, která máme dát k líhnutí, aby byly ztráty co nejmenší a zároveň zobrazí určit chování firmy při různých scénářích.

2.2 Metodika

K pochopení systémové dynamiky a porozumění problematice je nejprve nutné nastudování odborné literatury. Teoretická část obsahuje základní principy systémové dynamiky, historii a vysvětluje pojmy. Práce také seznamuje se všemi typy proměnných, informačními vazbami a s archetypy.

V Praktické části je nejprve nutné se obeznámit se zvolenou firmou, konzultovat se zaměstnancem fungování firmy, na co se firma zaměřuje a co je pro firmu důležité. Následně se podle poskytnutých informací krok za krokem pomocí programu Vensim PLE sestaví příčně smyčkový diagram přibližující nám chod firmy jako celku. Tento model nám pomůže lépe pochopit problematiku firmy a na jehož podmínkách se opět pomocí programu Vensim PLE vytvoří diagram stavů a toků, který se zabývá danou problematikou. V práci je dopodrobna rozebrán a simulován proces líhnutí vejce, jehož výsledky se potom porovnají s realitou. Na stejném principu se poté vyzkouší různé scénáře, jak firma zareaguje na extrémní změny norem.

Výsledkem práce je doporučení firmě na základě analýzy výsledků simulací.

3 Teoretická východiska

3.1 Systémová dynamika

Systémová dynamika je vědní disciplína zabývající se komplexními systémy, jejich chováním a vývojem v průběhu času. V systémové dynamice se pracuje s tzv. mentálními modely, které nám zjednodušují lépe vnímat podněty, vazby a chování mezi nimi. Kombinací nám daných znalostí a nových poznatků tak můžeme sestavit mnohem komplexnější systém anebo přijít s efektivním řešením k danému problému. (Mildeová, Vojtko, 2003)

3.2 Vznik systémové dynamiky

Systémová dynamika vzniká pod názvem „Průmyslová dynamika“ v 50. letech 20. století. Byla založena americkým profesorem Jay Wright Forresterem vyučujícím na univerzitě Massachusetts Institutu technologie. Ve stejné době také díky Richardu Bennetovi vznikl první formální počítačový jazyk pro tvorbu modelů a simulací SIMPLE (Simulation of Industrial Management Problems with Lots of Equations). Do konce 60. let se Systémová dynamika využívala jen k řešení manažerských problémů. Od roku 1968 se však díky spolupráci Jaye Forrester a Johna Collinse rozšířila i do oblasti urbanistiky a urbanistického rozvoje, kdy se zabývali zjištěním příčin vzniku oblastí zvýšené kriminality. Kniha Urban Dynamics odhalila, že některé politiky k zvýšení životní úrovně obyvatelstva jsou kontraproduktivní, ve své době ji však považovali za kontroverzní dílo. S pokrokem vědy, techniky a systémových modelů dochází i k rozšíření nástrojů pro dynamické modelování. Například simulační jazyk DYNAMO, simulační software Vensim, Powersim a STELLA. Od 70. let se systémové modelování rozšířilo o další oblast projektového managementu. (Mildeová, Vojtko, 2003)

3.3 Systém

Systém je komplex vzájemně působících částí, mezi kterými probíhají toky informací, hmoty, energie. Účel systému je produkce logicky uspořádaných kroků k dosažení určitého cíle. (Webster, 2019)

Podrobněji systém popisuje a formuluje Andersenová a Johnson

1) Pokud má systém optimálně fungovat, musí obsahovat všechny potřebné součásti

- Odstranění jedné nebo více součástí systému má vliv na jeho funkci, vztahy a výstup. Některé součásti bývají důležitější než jiné. Občas systém obsahuje zbytečné či dokonce škodlivé součásti k dosažení účelu. Identifikací podstatných a nepodstatných částí patří k úkolům systémového přístupu

2) Součásti systému musí být určitým způsobem uspořádány

- Systém slouží k naplnění účelu. Úředník nemusí optimálně pracovat na výrobní lince nebo v marketingu. Určité pracovní pozice totiž požadují určitou míru talentu. Náhodné uspořádání součástí organizace nejpravděpodobněji nevyvolá cílené chování

3) Systém vždy obsahuje zpětnou vazbu

- Pokud systém přeneše informaci do jiné části a ovlivní tak její stav, informace o nově modifikované funkci se poté přeneše zpět do původní součásti. Takový přenos se nazývá zpětná vazba. Informace se nemusí vracet zpětně přímo, může být navrácena z jiné součásti a projít řadu jiných částí anebo se může vrátit přes okolní prostředí.

4) Systém směřuje ke stabilnímu stavu

- Poslední pravidlo se často opakuje v literatuře, ale platí pouze za určitých podmínek. Systém musí obsahovat zápornou dominantní zpětnou vazbu. Bez ní žádný stabilní stav nenastane.

(Šusta, 2015)

Dynamická složitost systémů se různě mění. Systémy jsou (Sterman, 2003, str 6):

Dynamické: Systémy se vyvíjí a mění v čase.

Úzce propojené: Všechny části systému jsou navzájem mezi sebou propojené a silně reagují jedny na druhou. Činnost jedné části má vliv na jiné a nelze provádět změny a neovlivnit tím ostatní aktéry.

Řízené zpětnou vazbou: Díky úzké propojenosti mezi vazbami mezi částmi systému, jejich akce vrací zpětnou vazbu. Tato zpětná vazba dává jiným podněty na další akce a vznikají nové, které ovlivňují naše další rozhodnutí. Dynamika vzniká na těchto vazbách.

Nelineárnost: Efekt je jen zřídka úměrný vůči příčině a změny.

Závislé na historii: Jednu volbu ovlivňuje zkoumání zbylých dostupných alternativ a dopředu si determinujeme následky každého rozhodnutí v budoucnu.

Sebe organizující: Dynamické chování systému vychází spontánně z jeho struktury. Nové systémy vznikají spontánně ze zpětné vazby generující vzory v prostoru a čase.

Adaptivní: Možnosti a volby částí systému se mění v čase. Části mohou nabývat zkušeností, obzvláště při řešení různých problémů, a přicházet s novými alternativami řešení, jak dosáhnout svého cíle.

Charakterizovány kompromisy: Časová zpoždění ve zpětnovazebních vazbách znamenají, že dlouhodobá odezva systému se často liší od jeho krátkodobé odezvy. Zásady silného pákového efektu často způsobují chování horšího než lepšího, zatímco zásady nízkého pákového efektu často generují přechodné zlepšení, než se problém zhorší.

Kontra intuitivní: V komplexních systémech jsou příčina a efekt vzdáleny v čase a často se snažíme se zabývat bližšími událostmi, které si sami dokážeme vysvětlit. Snažíme se řešit jednodušší problémy než ty důležitější, které tak snadno nepoznáme.

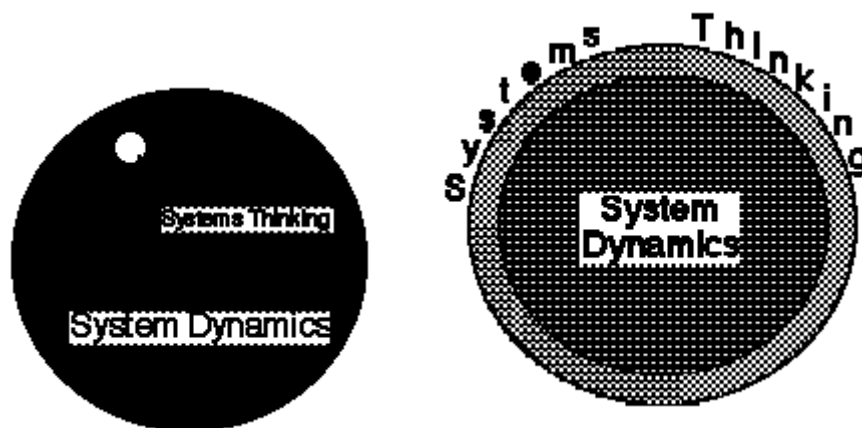
Odolné vůči politikám: Složitost systému bývá větší, než jakou dokážeme pochopit. Ne každé očividné řešení je skutečně správné, spíše dokonce může zhoršit problém.

3.3.1 Systémové myšlení

Z anglického překladu „System thinking“, se dá pochopit jako přemýšlení o každém celku jako o systému. Pomáhá tak lépe si uvědomit problém a snadněji pochopit určité jevy. Každý si však vytváří svůj vlastní pohled na věc.

„Obecné a povrchní vnímání systémů, uvědomění si jejich existence a důležitosti.“ (J. W. Forrester, 1994)

„Umění a vědeckou disciplínu provádění spolehlivých závěrů o chování pomocí prohlubujícího se porozumění základní struktuře.“ (B. Richmond, 1994)



(Obrázek 1, Vztah systémové dynamiky a myšlení, (Richmond, 1994, s 137) pohled Forrestera vlevo a pohled Richmonda napravo)

Zatímco Forrester definoval, že myšlení je maximálně 5 % z porozumění systémů a ostatních 95 % leží v systémové dynamice, právě naopak B. M. Richmond tvrdí, že systémové myšlení je jen velkou částí systémové dynamiky.

(Richmond, 1994)

3.4 Využití systémové dynamiky

V České republice se systémová dynamika rozvíjela na univerzitách teprve od 70. let. Až od roku 1995 začal význam systémové dynamiky u nás narůstat i v mimoškolních oblastech. Například v komerčním prostředí, armádním a státním sektoru nebo i v telekomunikačních firmách.

Příklady využití systémové dynamiky u nás:

- Sestavení personalistického modelu pro Armádu
- Podpora plánování v Českém Telekomu

(Mildeová, Vojtko, 2003)

3.5 Příčně smyčkové diagramy

Příčně smyčkové diagramy nám pomáhají vizualizovat, jak různé proměnné v systémech působí. Zobrazení vztahů mezi vybranými proměnnými určujeme šipkami vedoucí z počáteční proměnné do ovlivněné proměnné.

(Sterman, 2000)

3.5.1 Proměnná

Jedná se o základní položku každého CLD. Pod proměnnou si můžeme představit cokoliv od fyzických počtů až po abstraktní pojmy. Jsou přehledně spojeny šipkami udávající vliv jedné proměnné na druhou.

(Krejčí, Kvasnička, 2014)

3.5.2 Informační vazby

Existují dvě polaritní vazby:

Pozitivní: Pokud jsou 2 proměnné propojeny pozitivní vazbou, udává nám to, že působí ve stejném směru k původnímu jevu. Tedy čím více první roste, tím více roste i stav druhé a naopak čím více stav první klesá, tím více stav druhé klesá. Tedy mění se stejným směrem. Značí se symbolem „+“



Negativní: Přesný opak pozitivní. Pokud roste první proměnná, druhý tudíž klesá, pokud první proměnná klesá, druhá roste. Mění se v opačném směru. Značí se symbolem „-“



Zpoždění: Mimo polaritní vazby existuje ještě značka zpoždění. Značka nám udává zpoždění stavu. Může se jednat například o jev, který se neprojeví okamžitě, ale až s postupem času jako například růst plodin nebo dospívání jedince. Značí se dvěma čárkami na vazbě.



(Stermán, 2000)

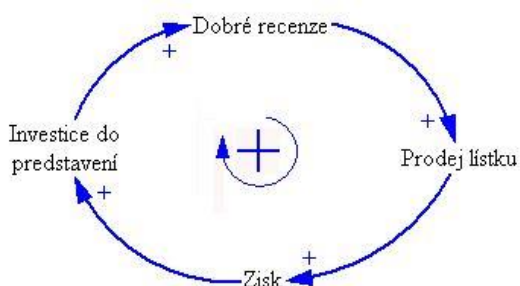
3.5.3 Zpětnovazební smyčky

Po uzavření vazeb dochází k zasmyčkování, tedy ke vzniku smyčky. Nastává situace, kdy změna jedné proměnné ovlivňuje jednu nebo více proměnných, které pak zpětně ovlivní proměnnou původní.

(Krejčí, Kvasnička, 2014)

3.5.3.1 Posilující smyčka

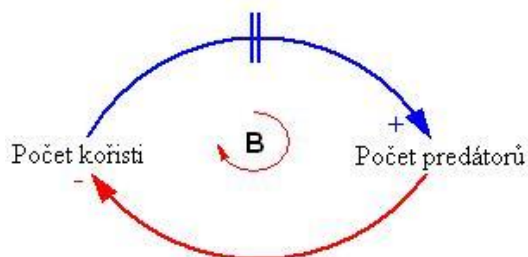
Po projití smyčky vazba končí se stejným nebo větším počtem, než započala. Dá se také identifikovat, že v celém cyklu je buď žádná nebo sudý počet negativních vazeb. Její graf je rostoucí a často exponenciální. Značí se buď symbolem „+“ anebo písmenem „R“.



Obrázek 2: Posilující smyčka

3.5.3.2 Zeslabující smyčka

Zvaná také jako rovnovážná smyčka, nám výsledek stavu kontradiktuje, identifikuje se lichým počtem negativních vazeb ve smyčce. Značí se symbolem „-“ anebo písmenem „B“.



Obrázek 3: Zeslabující smyčka

(Sterman, 2000)

3.6 Diagram stavů a toků

Diagram toků a stavů již tvoří základ simulačního modelu a představuje detailnější pohled na modelovaný problém. Využívá se pro počítačové simulace a je možné jeho transformaci ze smyčkového diagramu kvantifikovat.

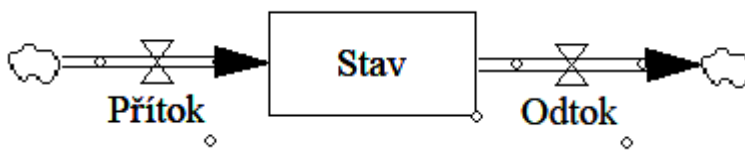
(Mildeová, Vojtko, 2003)

3.6.1 Stavová proměnná - Hladina

Z anglického Stock, značí se jako obdélník, reprezentující stav, nahromadění, zásoba nebo akumulace. Začínají s určenou počáteční hodnotou a vlivem toků do a z nich se mění. Pokud je objem vstupních toků a výstupních toků vyrovnaný, jedná se o rovnovážný stav. Je možné jejich momentální množství změřit.

Rovnice stavové proměnné: $Stav(t) = \int_T^{T_0} [Přítok(s) - Odtok(s)] ds + Stav(t_0)$

$$Čistá změna stavu = Přítok(t) - Odtok(t)$$



3.6.2 Toková proměnná

Jedná se o symbol spojený symboly toku a průtoku. Znárodnuje všechny změny v hladinách. Pokud šipka směřuje do hladiny, jedná se o přítok, pokud z hladiny vychází, jedná se o odtok.



3.6.3 Mrak

Bývá použit jako zdroj toku nebo odtoku zvenčí (začíná nebo končí mimo model), proto u něj nemusíme nic nastavovat. Pro obě možnosti má mrak nekonečně kapacity a nepředstavuje žádné limity pro tok.



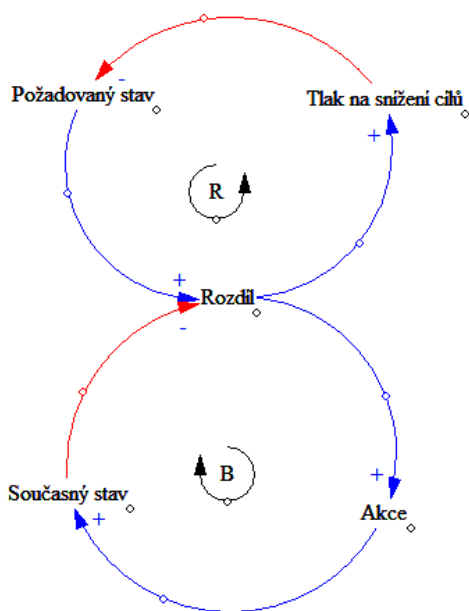
3.7 Archetypy

Mnoho problémů v sociálních systémech se s postupem času recykluje a opakují se pořád dokola. Hlavní myšlenkou archetypu je zjednodušení komplexních systémů. Rozpoznání určitého archetypu uvnitř modelu je častým úspěchem k zmenšení komplexnosti systému a vede k rychlejším analytickým procesům.

(Senge, 2007)

3.7.1 Eroze cílů

Eroze cílů z anglického Drifting goals, se skládá z dvou zeslabujících smyček, kde jedna smyčka oslabuje druhou, která se snaží dosáhnout rovnováhy. (Senge, 2007)

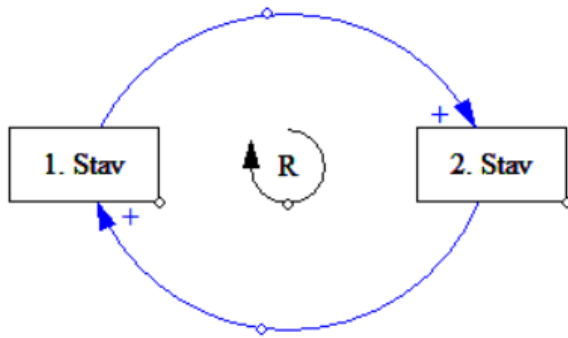


Obrázek 4: Eroze cílů

3.7.2 Sebeposilující se chování

Nejlehčí z archetypů, tato smyčka sama produkuje růst nebo pokles.

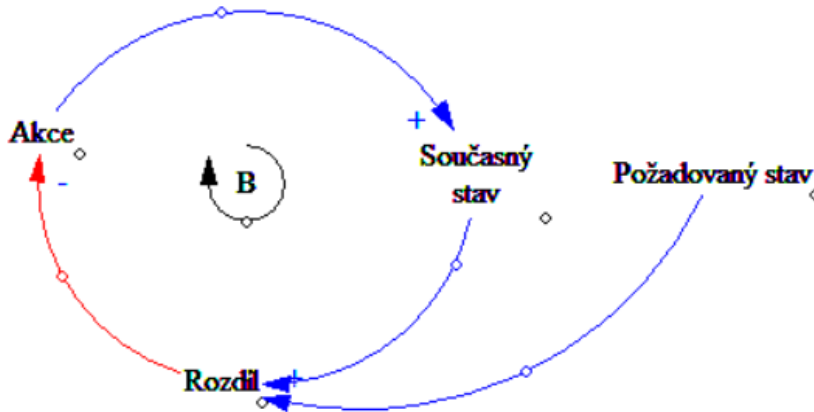
Když první stav posílí, musí posílit i druhý stav. Když druhý stav posílí, musí posílit i první stav. Smyčka pořád jde jedním směrem. (Senge, 2007)



Obrázek 5: Sebeposilující se chování

3.7.3 Cílové chování

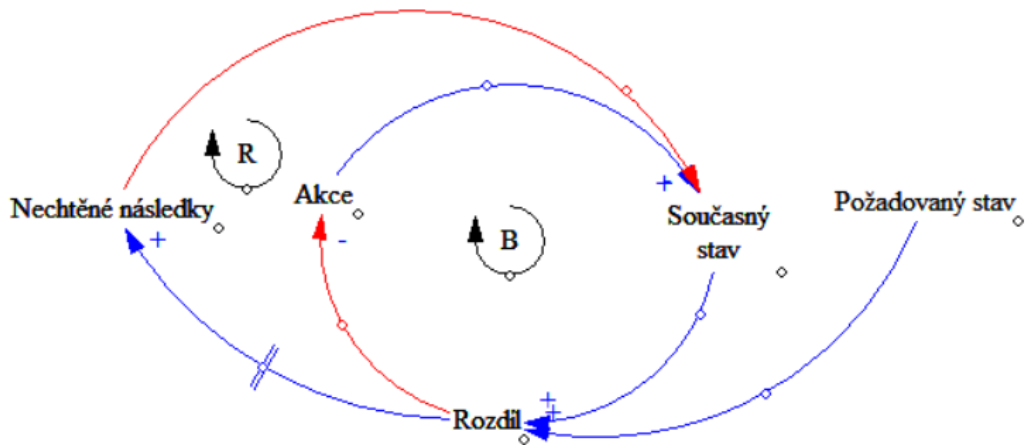
Stav, ve kterém je zeslabující smyčka v balanční roli a snaží se každou novou změnu vrátit do rovnováhy. S větším rozdílem je větší snaha systému. (Senge, 2007)



Obrázek 6: Cílové chování

3.7.4 Nápravy, které se vymstí

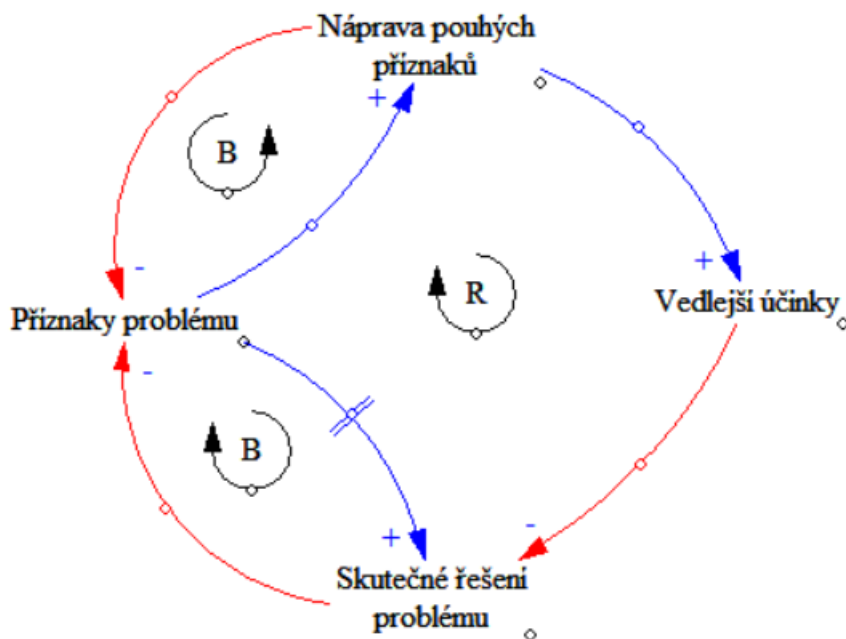
Archetyp obsahuje jednu posilující a jednu zeslabující smyčku. Obě spolu interagují způsobem, kde se zeslabující smyčka snaží napravit problém, ale posilující ho naopak po krátké prodlevě ještě prohlubuje. (Senge, 2007)



Obrázek 7: Nápravy, které se vymstí

3.7.5 Přesun Břemene

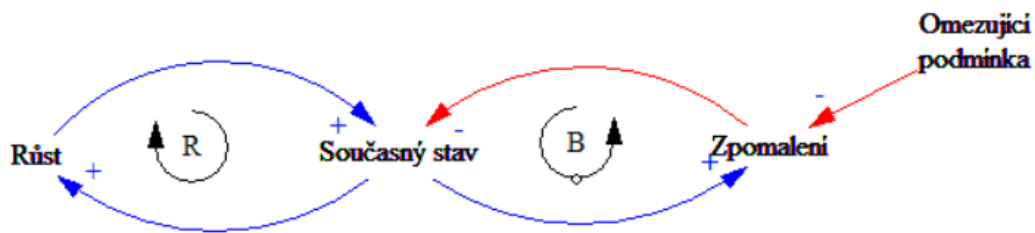
Archetyp poukazuje na přehlížený problém, kde pozornost bývá přenesena pouze na léčení příznaků, přičemž s větším zahojením se zapomene na hlavní kámen úrazu. (Senge, 2007)



Obrázek 8: Přesun břemene

3.7.6 Meze růstu

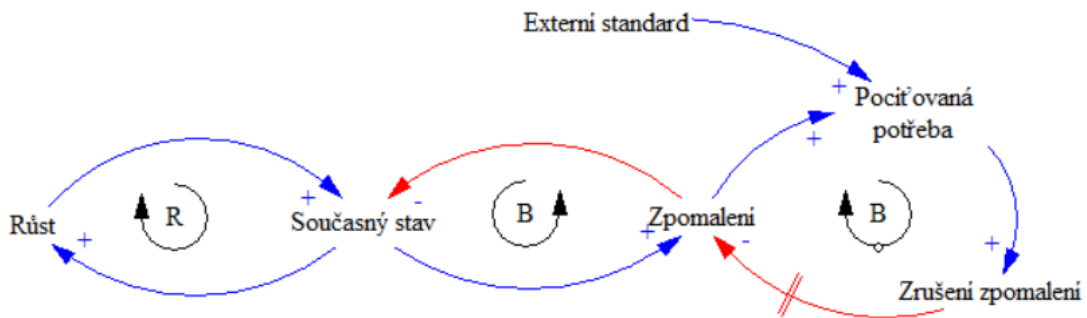
Archetyp se zdá, jako by donekonečna rostl, avšak když dosáhne meze omezující podmínky, začne dominovat záporná vazba a dochází ke zpomalení růstu či zastavení. (Senge, 2007)



Obrázek 9: Meze růstu

3.7.7 Růst a nedostatečné investice

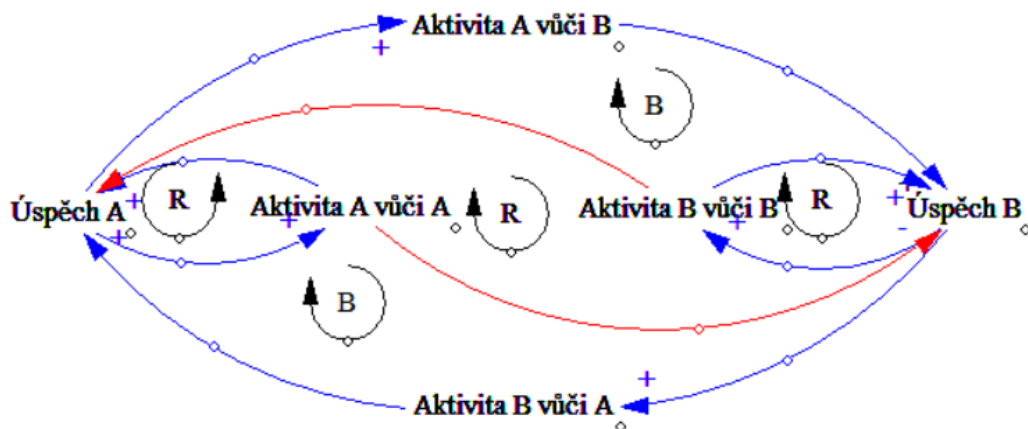
Jak název napovídá, růst firmy blokuje nedostatečné investice. Se změnou investic se mění i výsledky požadovaných cílů. Časová prodleva se zde snaží vyhnout zpomalování akce. (Senge, 2007)



Obrázek 10: Růst a nedostatečné investice

3.7.8 Náhodní protivníci

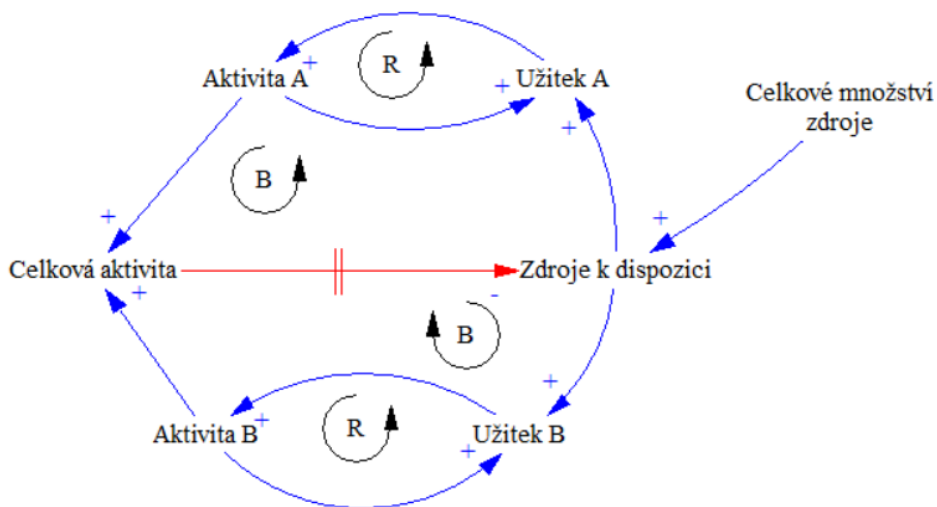
Zde nastává problém, kde hon za vlastním úspěchem poškozuje vlastního spolupracujícího a stávají se z nich konkurenti. Archetyp řídí tři posilující a dvě zeslabující smyčky. Zatímco globální posilující smyčka řídí růst, zeslabující se starají o stabilizaci. Tento archetyp je ve všech nejsložitější a řešením problému bude nejspíše domluva mezi oběma partnery. (Senge, 2007)



Obrázek 11: Náhodní protivníci

3.7.9 Tragédie společného

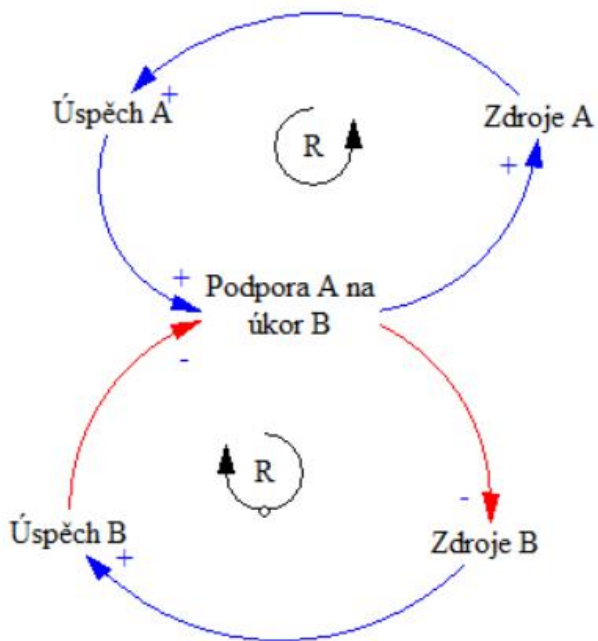
Popis dvou posilujících smyček čerpající ze stejného omezeného zdroje. Dokud je co čerpat, obě smyčky rostou, avšak až dojde ke ztrátě zdroje, zisk jednotlivců začne klesat. Největší roli zde hraje časová prodleva. (Senge, 2007)



Obrázek 12: Tragédie společného

3.7.10 Úspěch úspěšným

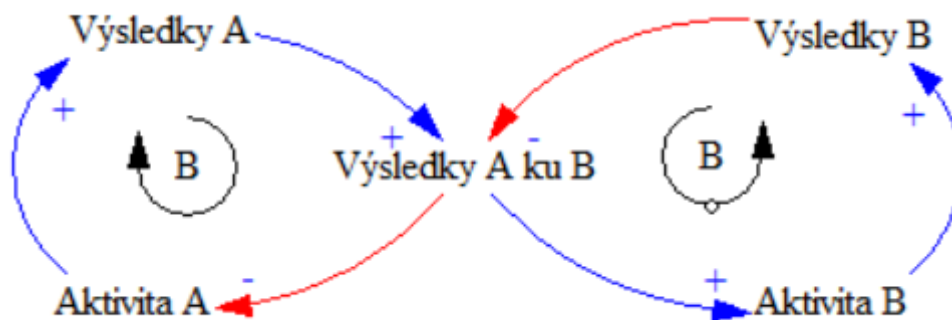
Zde figurují 2 spojené posilující cykly. Když pozice jedné strany roste, pozice druhé o to více slábne. Jedna strana se může dostat do vedení jen a pouze na úkor druhé. (Senge, 2007)



Obrázek 13: Úspěch úspěšným

3.7.11 Eskalace

Dvě zeslabující smyčky, které navzájem vytváří jednu posilující. Čím více je strana A motivována, tím více se jí daří a zhoršují tím postavení B. Opět dochází k posilování jedné strany na úkor druhé. (Senge, 2007)



Obrázek 14: Eskalace

4 Vlastní práce

4.1 Vensim PLE

Pro simulaci a tvorbu modelu byl zvolen program Vensim. K tvorbě CLD a modelu je využita základní verze Vensim PLE x64. Program je volně zdarma ke stažení na domovské stránce.

4.2 Představení firmy

Zvolená blízká firma se zabývá výrobou jednodenních brojlerových kuřat. Od stálých zákazníků přijímají objednávky na množství potřebných kuřat a podle potřebného množství musí proto dát určitý počet vajec k líhnutí.

Vybraná firma v současné době představuje jednu z největších a nejmodernějších komplexních líhní v České a Slovenské republice. Za svých dvacet pět let existence na trhu se firma rozrostla, prošla dynamickým rozvojem, zvýšila kapacitu líhní ze statisíců na několik milionů kuřat týdně, kapacita farem pak ročně vzrostla až na dva miliony 100 tisíc kusů slepic a produkce násadových vajec na 300 milionů kusů. Snaží se své stálé zákazníky nezklamat a udržet, neboť jejich ztráta a přechod ke konkurenci může firmu značně poškodit. Proto je potřeba jejich objednávku vždy naplnit. V případě přesahu objednávky do zhruba 4 % se nejedná o závažnou chybu a kuřata navíc se zákazníkovi darují jako bonus. V případě většího přesahu se již jedná o značnou ztrátu a firma si tím sama uškodí.

Firma chová dva druhy slepic – Cobb a Ross, zákazník si může sám vybrat, o které má zájem. Všechny slepice chovají ve speciálních halách, kde sklízí všechny vejce, která pak zavezou do skladů. Stáří vejce a druh slepice ovlivňuje šanci, že je vejce skutečně oplodněné a vylíhne se z něj zdravé kuře. Počet nasazených vajec se určí podle velikosti objednávky, líhivosti a podle předešlé normy. Líhivost kuřat se mění podle různých faktorů jako je druh slepice, stáří vejce nebo průběhu cyklu.

Model je vytvářen pro druh Cobb a vliv stáří vajec na pravděpodobnost vylíhnutí je v simulačním modelu zanedbán.

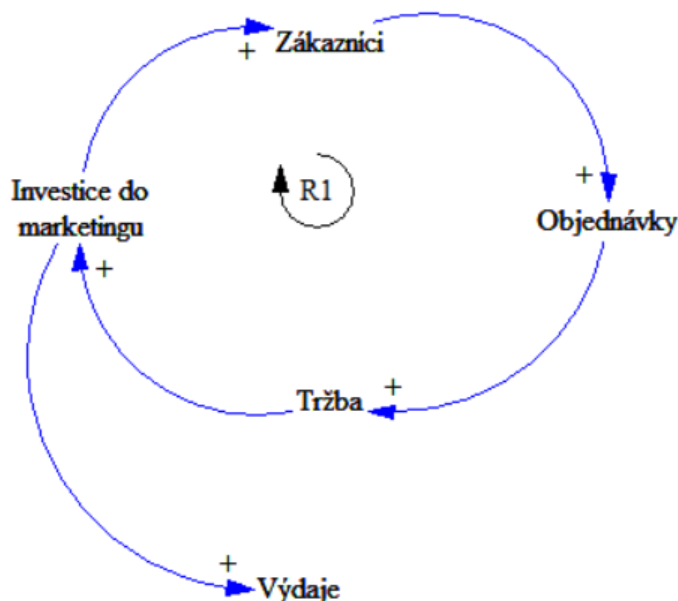
4.3 Vytváření CLD firmy

Pro lepší porozumění chodu firmy a snadnější sestavení simulačního modelu nejprve byl sestaven CLD diagram firmy. Postup i informace v diagramu byly mnohokrát konzultovány a upravovány se zaměstnancem firmy vystupujícím pro potřeby modelování v roli tzv. problem owner.

4.3.1 První krok vytváření CLD

Každá firma potřebuje zákazníky, které si chce stále udržet. Zákazník poté pošle objednávku, po jejíž vyplnění firma získává tržby, které poté zároveň investuje dále do marketingu, pro nalákání dalších zákazníků. Zároveň tak veškeré investice pro firmu znamenají výdaje.

Diagram je tvořen pouze pozitivními vztahy, tudíž všechny proměnné se ovlivňují stejným úměrem. Roste-li počet zákazníků, tak firma přijímá více objednávek, které produkují větší tržby, díky které může firma více investovat do marketingu a získat více zákazníků. Naopak při poklesu zákazníků klesne počet objednávek, firma má menší tržby a méně investuje. Výdaje znamenají negativa pro firmu, avšak vztah mezi investicemi a výdaji je pozitivní, protože se ovlivňují stejnou úměrou, čím více nebo méně investujeme, tím více či méně máme výdajů.

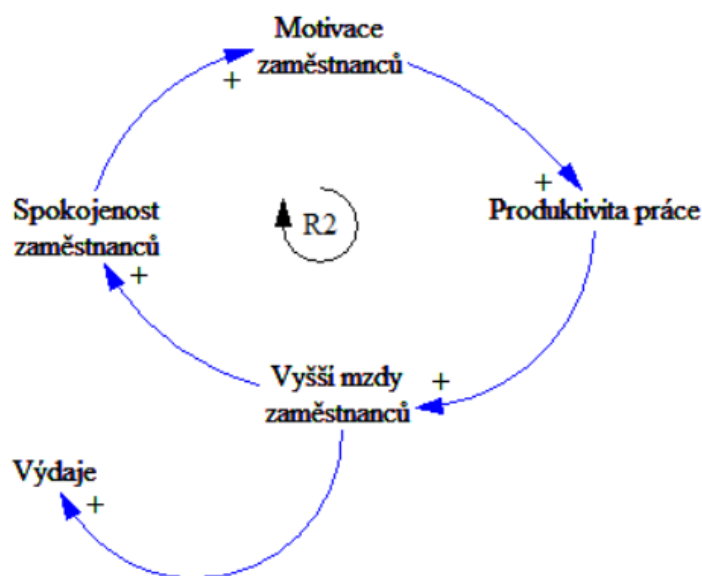


Obrázek 15: První krok CLD

4.3.2 Druhý krok vytváření CLD

Vedení firmy musí motivovat své zaměstnance, aby rostla produktivita práce, čím lépe se firmě daří a prosperuje nebo čím více zaměstnanec udělá a následně za to být povýšen, tím větší mzdu zaměstnanec získá. Výše mzdy poté ovlivní spokojenost zaměstnanců, a to se projeví i na jejich motivaci. Zároveň mzdy zaměstnanců se započítávají do veškerých výdajů firmy, kam směřoval i první krok tvorby.

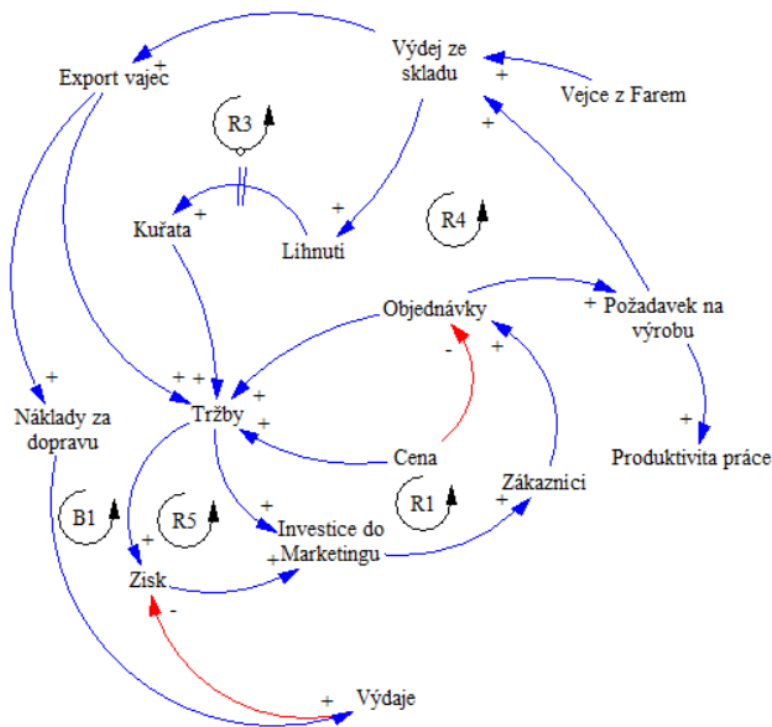
Opět se i zde jedná o posilující smyčku, protože všechny vazby mezi proměnnými jsou kladné a působí stejným směrem ať už kladným či záporným.



Obrázek 16: Druhý krok CLD

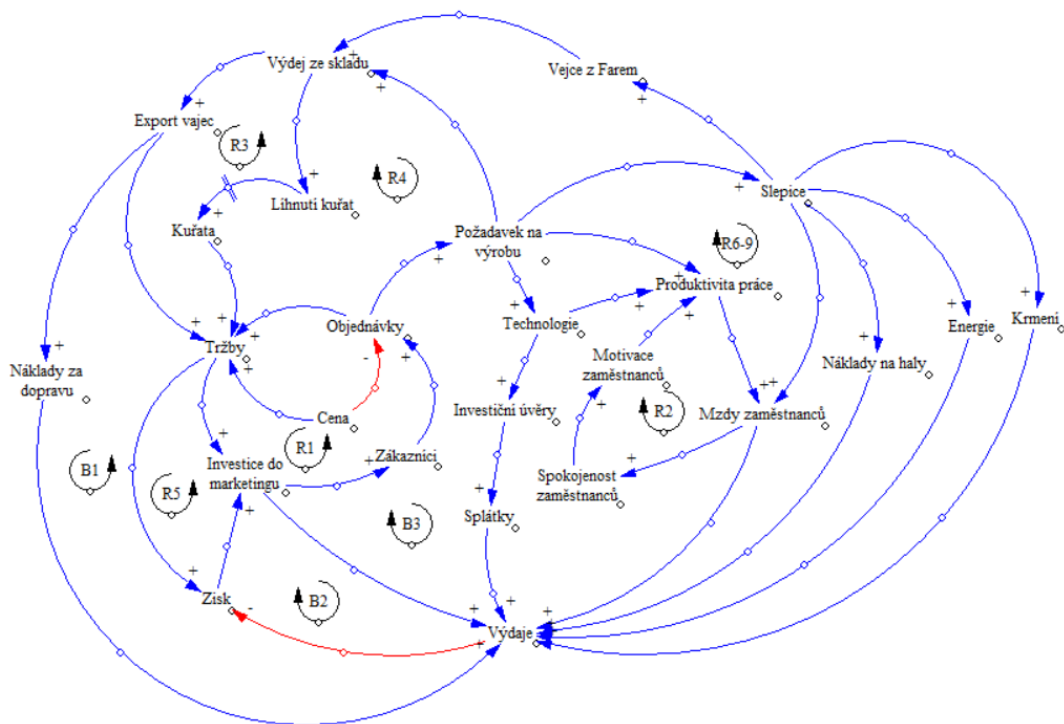
4.3.3 Třetí krok vytváření CLD a spojení v celek

Ve třetím kroku se již dostáváme k cíli práce, a to přesněji ke smyčce objednávky zákazníka. Každá objednávka se nahlásí a poté se pošle požadavek do skladů, kam se dováží vejce z farem, které snášejí slepice v halách. Zároveň počet požadavků ovlivňuje, jak moc se mění produkce vykonané práce, čímž navazuje na předešlý krok. Z vejce se poté po nějaké uplynulé době vylíhne zdravé jednodenní kuře. Jak kuřata nebo objednaná vejce generují firmě tržby, zatímco náklady na dopravu výdaje. Nakonec se z rozdílu tržeb a výdajů vypočte zisk, který je následně znovu investován do marketingu pro získání více zákazníků.



Obrázek 17: Třetí krok CLD

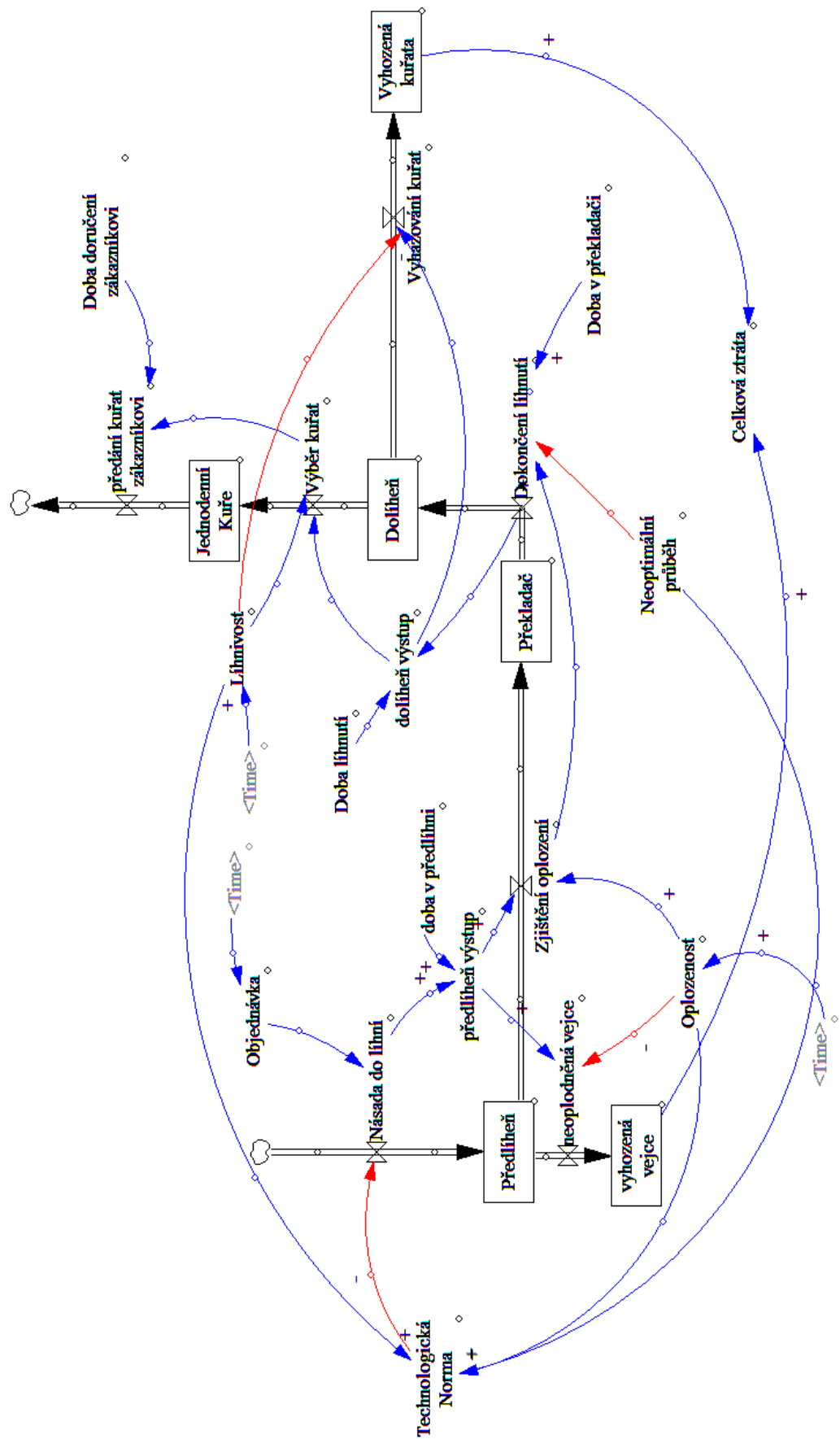
Grafy poté spojíme dohromady, přidáme ještě proměnné, které dále ovlivňují výdaje firmy a vznikne nám tak celkový diagram chodu firmy. Z tohoto diagramu můžeme dále rozhodovat o chodu firmy nebo se zaměřit na objednávku a snažit se optimalizovat počet nasazených vajec do násad, abychom vykryli požadované množství vajec.



Obrázek 18: Finální CLD

4.4 Simulační model procesu

Ve vytvořeném simulačním modelu, který vychází z výše vytvořeného CLD, se pozoruje tok pravidelně objednaných vajec. Zvažujeme, že jakmile se dokončí první objednávka, do procesu ihned vstupuje nová. Vejce poté putuje do předlíně, kde zůstává po dobu 18 dní. Při úspěšném oplodnění vejce putuje do překladače a pokud oplodnění vejce neproběhlo v pořádku, vyhodí se. Z překladače poté putuje do dolíhne, tento proces trvá v našem modelu přesně jeden den. V dolíhni, jak název napovídá, se kuře dolíhne. Pokud se vylíhne v pořádku, pošle se zákazníkovi, pokud se kuře nevylíhne nebo je slabé, životaneschopné či postižené, musí se také vyhodit. Proces dolíhnutí trvá také jeden den. Nakonec se všechna kuřata exportují zákazníkovi. Vyhozená vejce a kuřata se poté společně sečtou v proměnné vyhozené.

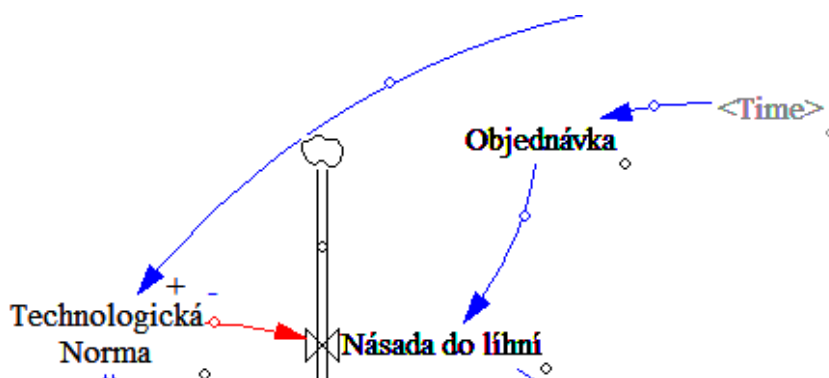


Obrázek 19: Model procesu líhnutí

4.4.1 Přijímání objednávky

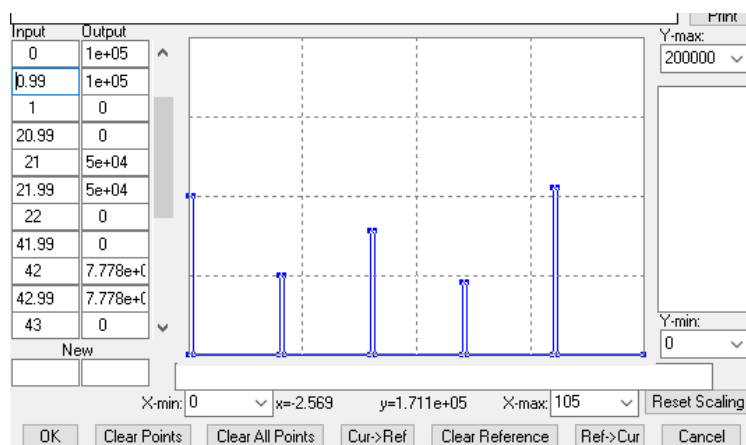
Proces začíná pořízením objednávky. Proměnná objednávka nám udává požadované množství kuřat, ke kterému se snažíme co nejlépe přiblížit. Zároveň objednávky firmě chodí ihned po dokončení cyklu, což v tomto případě činí 21 dní. Časovým krokem (Time step) procesu je 1 den.

Zároveň firma má určité normy neboli jaké jsou přibližně šance, že se vejce skutečně oplodní nebo se z něj vylihne zdravé kuře. Tyto dvě proměnné vstupují do technologické normy, jelikož se v tomto případě jedná o konkrétní šance, tak byla přidána třetí náhodně generovaná proměnná v malém rozmezí, která náhodně ovlivňuje tok.



Obrázek 20: Přijímání objednávky

Objednávka: Proměnná je nastavena jako exogenní proměnná, s hodnotami v rovnici „over time“ neboli přes čas - Sub-type: With Lookup – as Graph,



Obrázek 21: Objednávka

První objednávka: 100 000 kuřat

Druhá objednávka: 50 000 kuřat

Třetí objednávka: 7777 kuřat

Čtvrtá objednávka: 45 000 kuřat

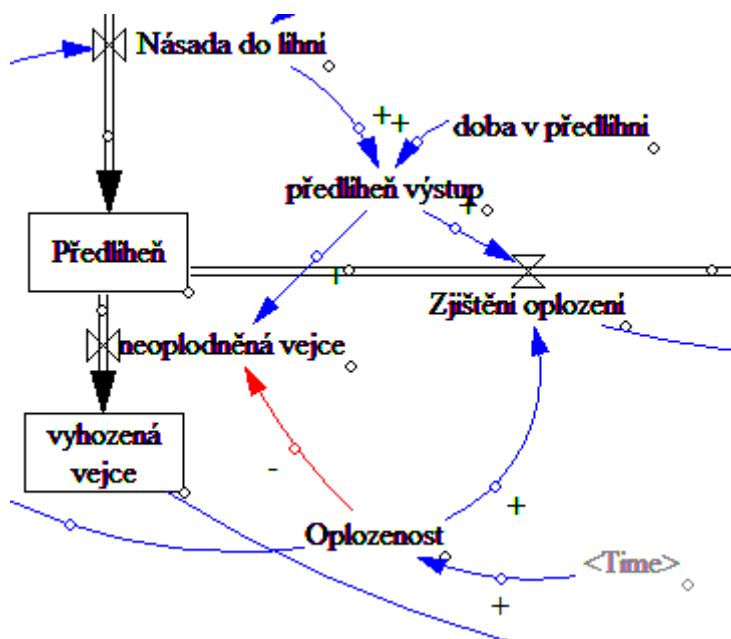
Pátá objednávka: 105 000 kuřat

Násada do líhni: Toková proměnná se vstupy z Objednávky a technologické proměnné směřující do předlíhně. Zde se určuje, kolik kuřat se nasadí. Změnou této rovnice výrobce optimalizuje průběh

= Objednávka / Technologická norma

4.4.2 Oplození vejce

Vejce putovalo do předlíhně, kde zůstává po dobu 18 dnů, poté se zjišťuje, zda je oplozené. Pokud projde zkouškou, je posláno dále na překladač. Jestliže vejce není oplodněno a již se z něj nemůže vylíhnout kuře, hromadně se vyhazují. Oplozenost je exogenní proměnná, která udává šanci, že se vejce skutečně oplodnilo a její opačná hodnota vstupuje do toku neoplozené vejce, kde určuje počet neoplozených vajec. Proměnná předlíheň výstup zde slouží jako zpoždění pro tok zjištění oplození o dobu v předlíhni.



Obrázek 22: Oplození vejce

Předlíheň: Stavová proměnná, do které z násady vstupují vejce. Zůstávají zde po dobu 18 dní a poté se toky buď vyhodí a nebo přesunují do Překladače. Počáteční hodnota je 0.

= Násada do líhni-neoplozená vejce-Zjištění oplození

Zjištění oplození: Oplozená vejce putující do překladače, tok je pozdržen proměnnou předlíheň výstup o 18 dní.

= předlíheň výstup*Oplozenost

Neoplozená vejce: Neoplozená vejce se naopak vyhazují. Tok se vypočítává právě převrácenou hodnotou oplozenosti

= předlíheň výstup*(1-Oplozenost)

Vyhozená vejce: Stavová proměnná, kde se hromadí vyhozená vejce, poté se její obsah sčítá s vyhozenými kuřaty pro vyčíslení úbytku. Její počáteční hodnota je 0.

= neoplozená vejce

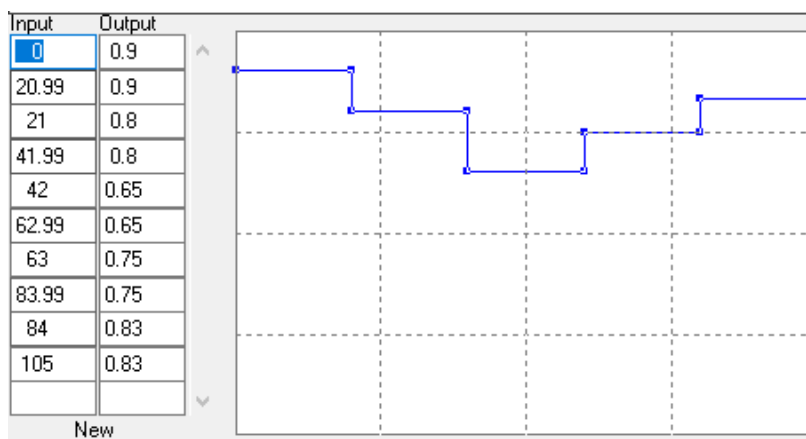
Předlíheň výstup: Proměnná brzdící tok z předlíhne do překladače a do vyhozených vajec.

= DELAY FIXED (Násada do líhni, doba v předlíhni, 0)

Doba v předlíhni: Proměnná určující dobu zdržení.

=18

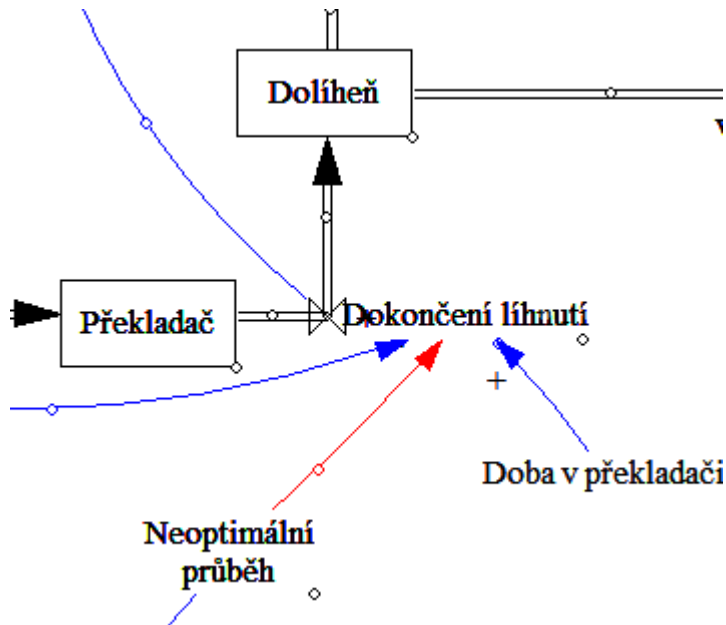
Oplozenost: Exogenní proměnná udávající procentuální šanci, že vejce je skutečně oplozeno a putuje do překladače. Pokud se tak nestane, vejce je poté nutné vyhodit. Hodnoty proměnné



Obrázek 23: Oplozenost

4.4.3 Přeložení do Dolíhně

Při dalším kroku procesu se vejce přendávají z překladače do dolíhně. Jedná se o jednodenní proces, při kterém vzácně může dojít k závadě.



Obrázek 24: Přeložení do dolíhně

Překladač: Stavová proměnná, vstupuje do ní tok zjištění oplození a vychází tok dokončení líhnutí. Počáteční hodnota je 0.

=Zjištění oplození-Dokončení líhnutí

Neoptimální průběh: Závada na stroji nebo na dolíhni, nemá tak velký vliv a v reálném prostředí se vejce přendávají na jiný stroj. V simulaci má proto danou hodnotu 0.001.

=000.1

Dokončení líhnutí: Toková proměnná udávající přendání vajec z překladače na dolíhň, kde se vejce dolíhnou. Doba toku závisí na proměnné doba v překladači.

= DELAY FIXED(Zjištění oplození*(1-Neoptimální průběh), Doba v překladači, 0)

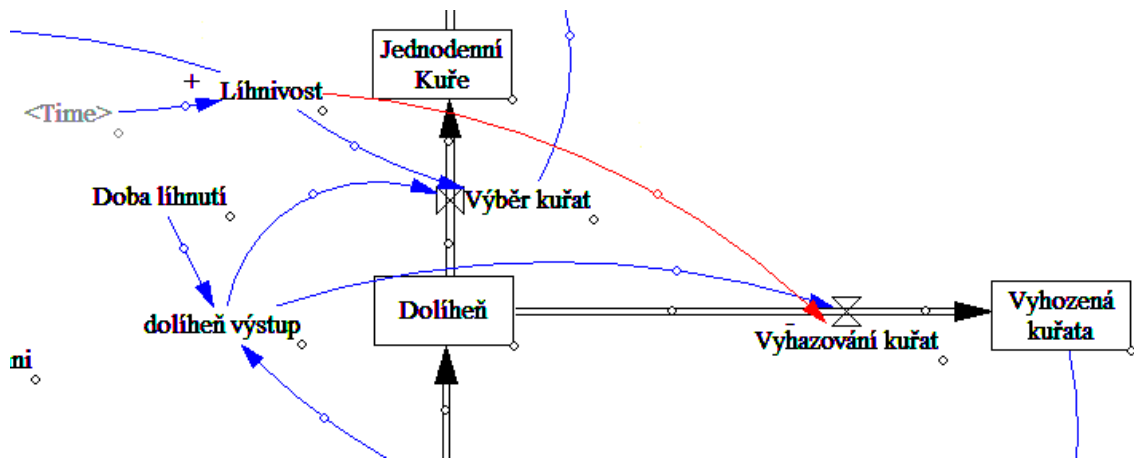
Doba v překladači: Proměnná určující dobu dokončení líhnutí

=1

4.4.4 Líhnutí kuřete

Postup fungující jako krok 4.4.2. Vejce v Dolíhni zůstávají po dobu jednoho dne a poté se vyvíhlá kuřata posílají k zákazníkovi anebo se nevyvíhnutá či zmetky vyhazují. Všechna

vyhozená kuřata se pak sčítají a vyčíslují v celkové ztrátě. Líhnivost je exogenní proměnná udávající šanci, že se kuře vylíhne. Společně s Oplozeností vstupují do technologické normy, podle které se pak řídí, kolik vajec se má nasadit.



Obrázek 25: Líhnutí kuřete

Dolíheň: Stavová proměnná do které směřuje tok dokončení líhnutí a podle vylíhnutí poté kuře směřuje buď k zákazníkovi a nebo se vyhodí. Počáteční hodnota se rovná nule.

= Dokončení líhnutí-Vyhazování kuřat-Výběr kuřat

Vyhazování kuřat: Nevylíhlá nebo postižená kuřata se vyhazují.

= dolíheň výstup*(1-Líhnivost)

Vyhozená kuřata: Stavová proměnná do které vstupuje tok vyhozených kuřat. Její počáteční hodnota je 0.

= Vyhazování kuřat

Celková ztráta: Proměnná, která udává součet všech ztrát procesů.

= Vyhozená kuřata+vyhozená vejce

Výběr kuřat: Toková proměnná, která udává, kolik kuřat se úspěšně vylíhlo a je připraveno na dovoz k zákazníkovi.

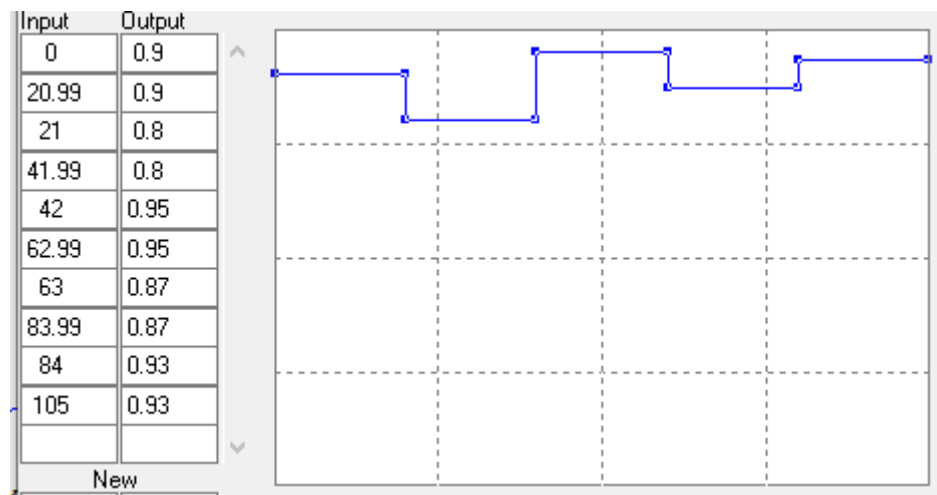
Dolíheň výstup: Proměnná udávající zpoždění toku vylíhnutých a nevlíhnutých kuřat.

= DELAY FIXED (Dokončení líhnutí, Doba líhnutí, 0)

Doba líhnutí: Proměnná určující zpoždění toků.

=1

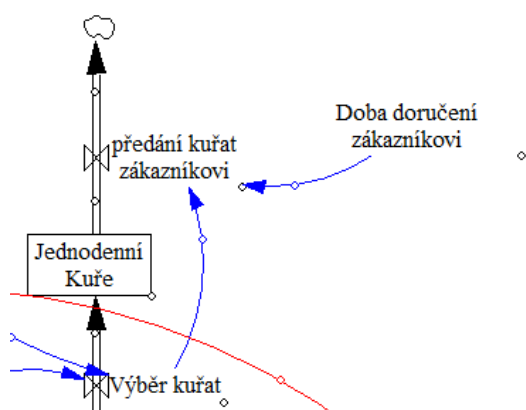
Líhnivost: Šance, ovlivňující vylíhnutí kuřete. Pokud se vylíhne, tak putuje k zákazníkovi a v opačném případě se vyhodí. Jedná se o exogenní proměnnou a její hodnoty jsou dány v tabulce za čas.



Obrázek 26: Líhnivost

4.4.5 Předání kuřat zákazníkovi

Konečný počet se po výběru kuřat přepraví zákazníkovi a proces končí. Doprava trvá v tomto případě přesně jeden den.



Obrázek 27: Předání kuřat zákazníkovi

Jednodenní kuře: Stavová proměnná, zde jsou uložena kuřata, která už jen čekají na převoz k zákazníkovi. Počáteční hodnota je 0.

= Výběr kuřat-předání kuřat zákazníkovi

Předání kuřat zákazníkovi: Toková proměnná směřující k zákazníkovi, který si převezme kuřata a proces tím končí. Doba toku závisí na proměnné době doručení zákazníkovi

= DELAY FIXED(Výběr kuřat, Doba doručení zákazníkovi, 0)

Doba doručení zákazníkovi: Doba, jak dlouho trvá export kuřat zákazníkovi.

=1

Technologická norma: Norma, podle které se řídí výroba a nasazování vajec do líhni. Je ovlivněna Oplozeností vajec a Líhnivostí kuřat. Pro zpřesnění reality je do rovnice přidána náhodně generovaná hodnota, která mění normu pro každou objednávku.

= RANDOM UNIFORM(0.9, 0.99, 0.2)*Líhnivost*Oplozenost*(1-Neoptimální průběh)

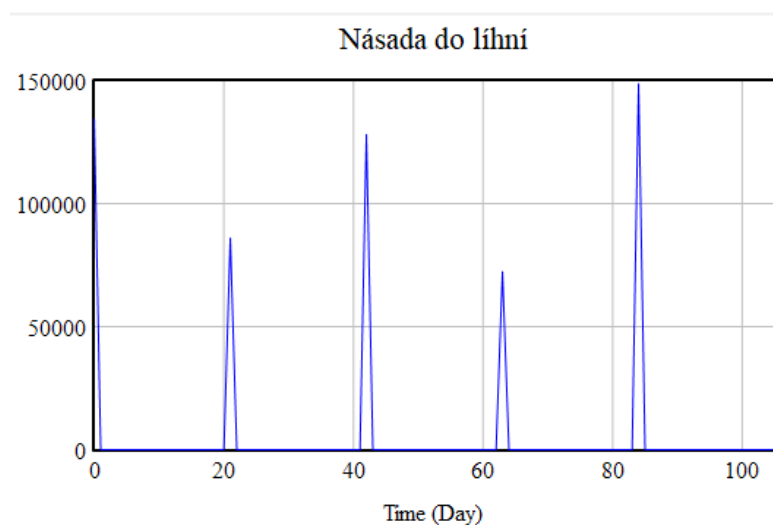
5 Výsledky a diskuse

5.1 Návrh násady

Při nasazování vajec do násady je důležité, aby výsledné množství kuřat bylo co nejbližší k počtu objednaných. Nejhorší varianta by ovšem nastala, kdyby počet exportovaných kuřat nedosáhl požadované objednávky a firma by přišla o zákazníka. Přesáhnutí objednávky do 4 % firmu nijak vážně nepoškodí a kuřata zákazníkovi darují. Při případném větším přesazení pak firma výrazně začíná prodělávat.

V první simulaci se objednalo 100, 50, 77.777, 45 a 105 tisíc kuřat.

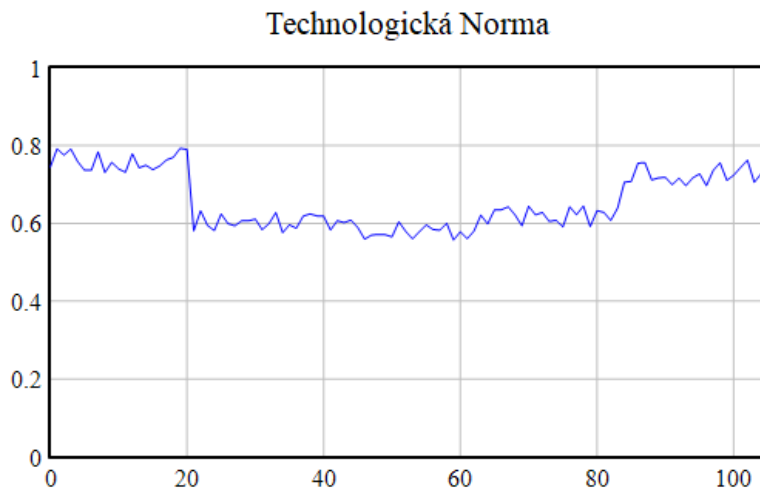
S nastavenou konkrétní oplozeností, líhivostí a náhodné proměnné, technologická norma nastavila, aby bylo do násady do líhni nasazeno vajec:



Obrázek 28: Graf násady do líhnutí

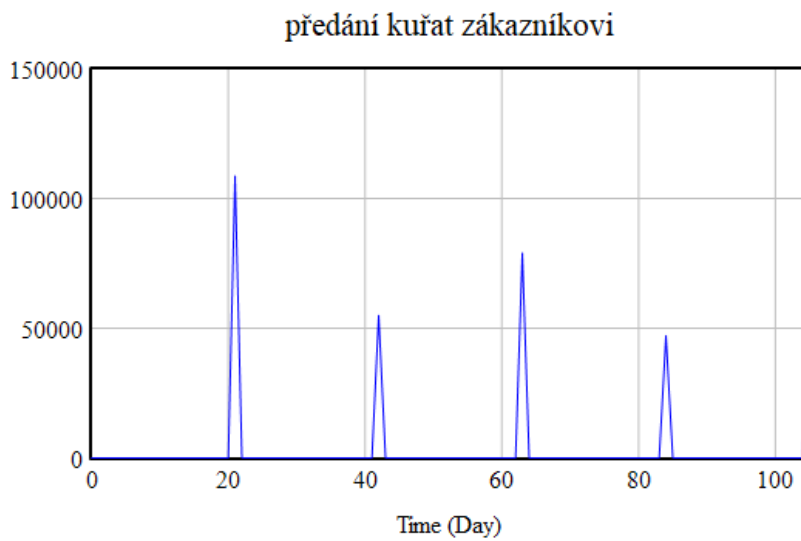
0 – 132 385; 21 – 86 096; 42 – 128 177; 63 – 72 437 a 84 – 148 800; vajec

Při technologických normách: 0,744129; 0,580747; 0,606794; 0,598681; a 0,705644



Obrázek 29: Graf technologické normy

A nakonec výsledek, kolik kuřat nakonec bylo dovezeno zákazníkovi:



Obrázek 30: Graf předání kuřat zákazníkovi

Kde zákazníkovi bylo předáno:

1 - 108 743; 2 – 55 046; 3 – 79 070; 4 – 47 217 5 – 114 744 kuřat

Což je o 8 %, 1,1 %, 1,6 %, 4,9 % a 9% více, než byla požadovaná objednávka.

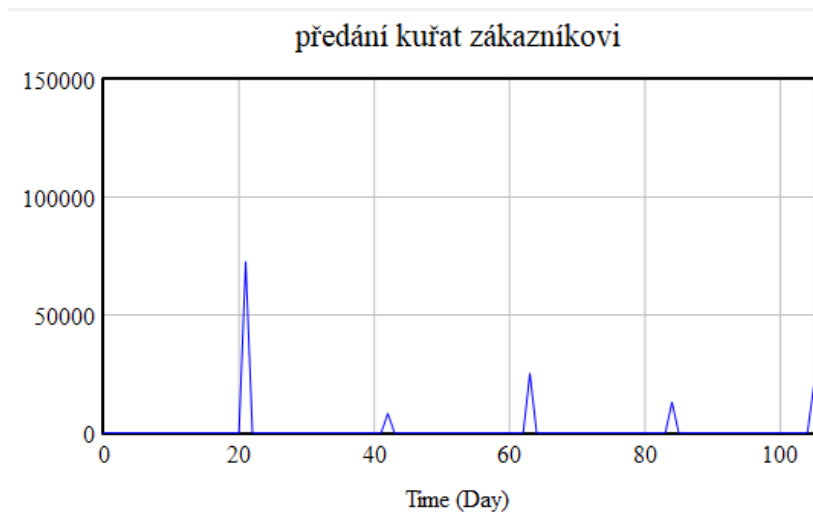
5.2 Porovnání s realitou

Oproti realitě, diagram stavů a toků je navrhnout, aby se za každou cenu vyhnul nenaplnění požadavků zákazníka. Ovšem v realitě se mnohem hůře předvídá, jak celý proces dopadne. Technologické normy jsou založené i na druhu slepice, stáří vejce, mnohých předešlých zkušeností a oplozenost s líhivostí jsou mnohem náhodnější, než tomu je v modelu, proto se výjimečně ve firmě stává, že se nenaplní požadavek.

Pro porovnání reality a modelu se data poskytnuté z firmy nasadí do modelu a porovnají. Do modelu se zadá objednávka vypočítaná z normy a porovná se počet odeslaných kuřat zákazníkovi.

R	S	T	U	V
K líhnutí	Nasazer	Vylíhnutí	% líhivosti (z)	% oplozenost
81391,00	90034,00	72700,00	80,75	90,40
9327,00	10660,00	8300,00	77,86	87,50
27425,00	30988,00	25300,00	81,64	88,50
14830,00	16644,00	13150,00	79,01	89,10
23163,00	25992,00	20670,00	79,52	89,12

Obrázek 31: Tabulky dat z firmy



Obrázek 32: Graf data z firmy v modelu

Zákazníkovi bylo předáno:

1 – 72 629, 2 - 8292, 3 – 25273, 4 – 13137 a 5 – 20648

Model s minimální odchylkou generuje chování napodobující realitu.

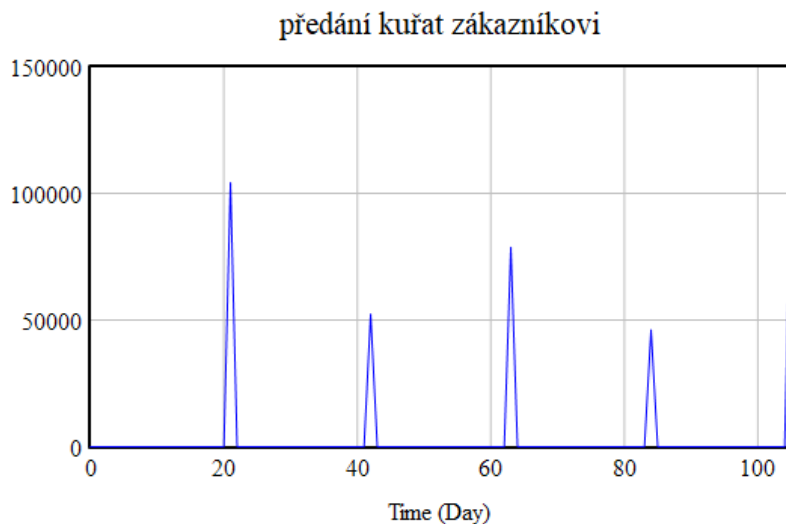
5.3 Optimistický scénář

V optimistickém scénáři všechny hodnoty proměnných Oplozenost a Líhivost nabývají své maximální hodnoty a zároveň náhodná proměnná technologické normy nabývá pouze nadprůměrných hodnot

Objednávky zůstávají stejné, avšak nasazených vajec v násadě bude méně:

1 – 128 903, 2 – 64 790, 3 – 97 366, 4 – 57 121 a 5 – 135 632

A zákazník obdrží přesně



Obrázek 33: Graf předání kuřat zákazníkovi OS

1 – 104 307, 2 – 52427, 3 – 78787, 4 – 46 221 a 5 – 109 752

Což je pouze o 1 - 4 %, 2 – 4,8 %, 3 – 1,3 %, 4 – 2,7 % a 5 – 4.5% více, než bylo požadováno, tudíž nebyl překročen interval tolerance a firma tak na objednávce vůbec netratí.

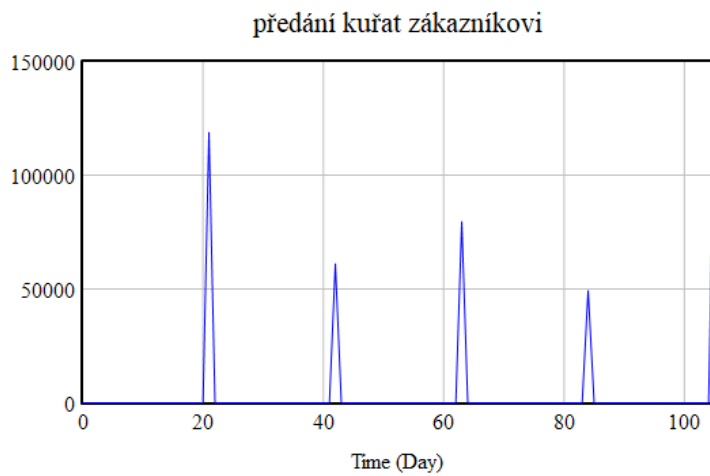
5.4 Pesimistický scénář

V pesimistickém scénáři se sleduje, jak firma zareaguje, když veškeré objednávky vyjdou s nejhorší oplozeností, nejhorší líhivostí a náhodná proměnná začne nabývat i menších hodnot.

Objednávky zůstávají stejné, avšak vejce v násadě se změní.

1 – 228 793, 2 – 117 726, 3 – 153 310, 4 – 94 989 a 5 – 242 987 vajec

Už jen z hodnot nasazených vajcí v líhni je zřejmé, že firma očekává extrémní ztráty. Oproti optimistickému scénáři nasazujeme skoro až dvojnásobek vajec k dosažení stejné objednávky. K dodavateli nakonec je dovezeno následující množství vajec:

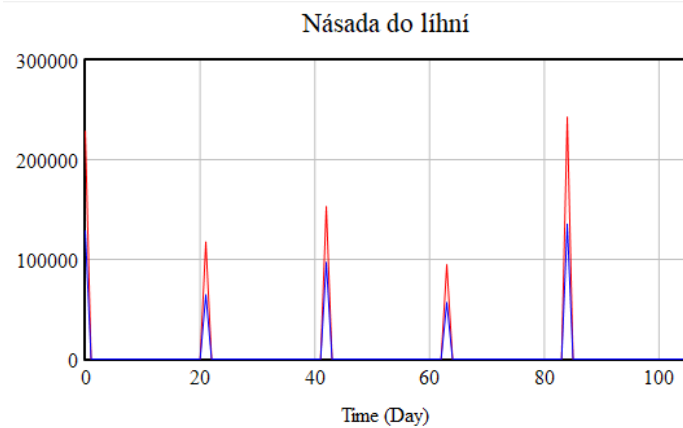


Obrázek 34: Graf předání kuřat zákazníkovi PS

1 – 118 853, 2 – 61 156, 3 – 79 641, 4 – 49 344 a 5 – 126 227 kuřat

Což je o: 1 - 18.8 %, 2 – 22.3 %, 3 – 2,3 %, 4 – 9,6 % a 5 – 20,2 % více, než bylo požadováno.

V tomto grafu pak je zachycen počet nasazených vajec při obou scénářích pro jednotlivé objednávky. Modře je zachycen optimistický a červeně pesimistický scénář.



Obrázek 35: Graf porovnání scénářů.

6 Závěr

Bakalářská práce v teoretické části vysvětluje základní principy systémové dynamiky, její vznik a využití. V praktické části byl vytvořen příčně smyčkový diagram, který ukázal chod firmy a pomohl při tvorbě modelu diagramu stavů a toků zkoumaného problému, čímž bylo optimalizování nasazených vajec a co nejpřesnější přiblížení k objednávce. Na základě výsledku simulace se zjišťuje, že s poklesem technologické normy roste počet vajec, které musíme nasadit, abychom dosáhli požadované objednávky, ale zároveň rostou i vyhozené kusy. Z výsledků práce se doporučuje, aby firma stále nasazovala více vajec na úměr normy, aby se tak vyhnula případu nesplnění požadavků. Čím více norma klesá, tím více je rizikovější nasazovat méně vajec.

V budoucnu bude možné model rozšířit o další faktory ovlivňující průběh líhnutí, jako je třeba roční období, druh slepice, stáří vejce, druh krmiva pro slepice, o citlivostní analýzu na jednotlivé parametry, přidání kvantifikované náklady, a jiné.

Seznam použitých zdrojů

Definition of systém [online]. [cit 2021-3-13]. Dostupné z:

<https://www.merriam-webster.com/dictionary/system>

The beginning of systém dynamics [online]. [cit 2021-03-13] Dostupné z:

<https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/the-beginning-of-system-dynamics>

SENGE, Peter M. 2007. *Pátá disciplína: teorie a praxe učící se organizace*. Praha: Management Press, Knihovna světového managementu. ISBN 978-80-7261-162-1.

MILDEOVÁ, Stanislava a Viktor VOJTKO. 2003. *Systémová dynamika*. V Praze: Oeconomica, ISBN 80-245-0626-2.

MEADOWS, D H. 2008. -- WRIGHT, D. *Thinking in systems : a primer*. White River Junction, Vt.: Chelsea Green Pub., ISBN 978-1-60358-055-7.

STERMAN, 2000. *J. Business dynamics : systems thinking and modeling for a complex world*. Boston: McGraw-Hill, ISBN 007238915.

ŠUSTA, M. 2015. *Průvodce systémovým myšlením*. První vydání. Praha: Proverbs. 136 s. ISBN 978-80-260-7602-5.

RICHMOND, Barry. 1994. *System Dynamics/Systems Thinking: Let's Just Get On With It*. System Dynamics Review, vol. 10, no. 2-3. ISSN 1099-1727.

KREJČÍ, Igor a Roman KVASNIČKA. 2014. *Systémová dynamika I*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, ISBN 978-80-213-.

FORRESTER Jay Wright. 1994. *System dynamics, systems thinking, and soft OR* System dynamics review vol. 3, s. 232